Journal of Agricultural Machinery

Homepage: https://jame.um.ac.ir

Research Article
Vol. 13, No. 2, 2023, p. 163-174

Detection of Different Percentages of Palm in Corn Oil with the Help of an Electric Nose

Z. Zangene Wandi[1], H. Javadikia[2*], N. Aghili Nategh[3], L. Naderloo[4]

1- M.Sc. of Mechanical Engineering of Biosystems Department, Razi University, Kermanshah, Iran
2- Associate Professor of Mechanical Engineering of Biosystems Department, Razi University, Kermanshah, Iran
3- Assistant Professor of Mechanical Engineering of Biosystems Department, Sonqor Agriculture Faculty, Razi University, Kermanshah, Iran
4- Associate Professor of Mechanical Engineering of Biosystems Department, Razi University, Kermanshah, Iran
(*- Corresponding Author Email: pjavadikia@gmail.com)
https://doi.org/10.22067/jam.2021.70930.1046

Received: 13 September 2021
Revised: 13 November 2021
Accepted: 16 November 2021
Available Online: 16 November 2021

How to cite this article:
Zanganeh Wandi, Z., Javadikia, H., Aghili Nategh, N., & Naderloo, L. (2023). Detection of Different Percentages of Palm in Corn Oil with the Help of an Electric Nose. *Journal of Agricultural Machinery*, *13*(2), 163-174. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jam.2021.70930.1046

Introduction

The use of corn oil in diets is due to its positive effects on cardiovascular and immune systems. Corn oil is composed of 99% triacylglycerol, with 59% unsaturated fatty acids and 13% saturated fatty acids. Of the unsaturated fatty acids, 24% contain a double bond. Because of this composition, corn oil can be a good alternative to other oils high in saturated fatty acids, as it reduces blood cholesterol levels.

This study employed an electrical nasal system to detect the amount of palm oil present in corn oil. The properties extracted from the signals obtained by the device were processed using principal component analysis, artificial neural networks, infusion, and response surface methods. The results were then compared to find the best method for detecting palm oil levels in corn oil.

Materials and Methods

The required palm oil was obtained from the Nazgol Oil Agro-industrial Plant, while the corn oil was obtained from natural lubrication centers. To prepare samples with different percentages of palm oil, 75 grams of palm oil and corn oil with the specified percentages were mixed and stored in special containers.

In the electrical nose system, ten metal oxide semiconductor sensors (MOS) were used to collect output data. Pre-processing operations were performed on this data using RSM, ANFIS, PCA, and ANN methods to estimate the percentage of palm oil in corn oil. The Unscrambler V.9 software, Design Expert 8.07.1, and MATLAB R2013a were used to analyze the results.

Results and Discussion

Based on the Score plot, PC-1 and PC-2 explain 53% and 25%, respectively, describing the variance between samples for a total of 78 data points. The analysis indicates that sensors 7 and 8 have minimal impact on the detection process and can be removed from the sensor array. When reducing the cost of the olfactory system's sensor array, sensor 6 plays a more significant role than other sensors in detecting corn oil with palm composition.

According to the loading diagram of palm percentage in corn oil, the MQ6 sensor had the least effect in classifying different percentages of palm in corn oil and pattern identification. Out of all functional parameters (accuracy, sensitivity, and specificity), the RSM method is deemed more appropriate for determining the percentage of palm in corn oil.

Regarding the separation of corn oil and palm oil by ANFIS, RSM, and ANN, the results in Table 3-1 indicate that the RSM method is better suited for classifying corn and palm oil.

Conclusion

In this study, we used an electronic multi-sensor system based on metal oxide sensors to analyze various aromatic compounds in different oil and palm samples and to detect the presence of palm. The system provided

comparable information for classifying different samples of palm oils. Using PCA, ANN, ANFIS, and RSM methods, we evaluated the system's performance in differentiating and classifying various oil and palm samples.

The results obtained from the loading diagrams for the detection of palm in corn oil indicated that the MQ6 sensor had the least impact on the detection process. Therefore, this sensor can be removed from the sensor array.

Additionally, our analysis showed that using the RSM method is more effective in detecting different percentages of palm in corn oil. Overall, our study demonstrates the efficacy of the electronic multi-sensor system in analyzing different oil and palm samples and detecting the presence of palm.

Keywords: Fatty acid, Fraud, Sensory evaluation

نشریه ماشین‌های کشاورزی
https://jame.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۳، شماره ۲، تابستان ۱٤۰۲، ص ۱۷٤-۱٦۳

تشخیص درصدهای مختلف پالم در روغن ذرت به کمک بینی الکتریکی (تشخیص تقلب)

زهرا زنگنه‌وندی[1]، حسین جوادی کیا[2*]، ناهید عقیلی ناطق[3]، لیلا ندرلو[4]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۵

چکیده

روغن‌های جامد نباتی یا روغن‌هایی مثل پالم دارای اسید چرب اشباع بالا هستند، چنین روغن‌هایی می‌توانند باعث بالا رفتن چربی خون، افزایش کلسترول بدن و در نهایت موجب گرفتگی و انسداد عروق شوند. در این پژوهش از یک سامانه به‌منظور تشخیص میزان پالم در روغن ذرت استفاده شده که شامل ده حسگر نیمه‌هادی اکسید فلزی بود. ویژگی‌های استخراج شده از سیگنال‌های به‌دست‌آمده از بینی‌الکتریکی با روش‌های تحلیل مولفه‌های اصلی، شبکه‌ی عصبی مصنوعی، انفیس و سطح پاسخ پردازش شدند. نمونه‌های مورد آزمایش شامل روغن ذرت خالص، روغن ذرت دارای ۲۵ درصد پالم، روغن ذرت ۵۰ درصد و روغن ذرت ۷۵ درصد است. براساس نتایج به‌دست‌آمده دقت طبقه‌بندی در روش‌های PCA، ANN، ANFIS و RSM به‌ترتیب برابر ۸۷، ۷۱/۹، ۹۳/۸ و ۹۶/۹ درصد است و باتوجه به این نتایج روش سطح پاسخ روشی مناسب‌تری برای تشخیص درصد پالم در روغن ذرت می‌باشد. با مدل ارائه شده می‌توان میزان روغن پالم بیش از حد مجاز استفاده شده را تشخیص داد.

واژه‌های کلیدی: اسید چرب، ارزیابی حسی، تقلب

مقدمه

دلیل استفاده‌ی روغن ذرت در رژیم غذایی تاثیرات مثبت آن بر سیستم قلبی و عروقی و سیستم ایمنی بدن می‌باشد. روغن ذرت دارای ۹۹ درصد تری‌اسیل گلیسرول است، که خود این حاوی ۵۹ درصد اسید چرب غیراشباع، ۲۴ درصد اسید غیراشباع شامل یک باند مضاعف می‌باشد و همچنین دارای ۱۳ درصد اسید چرب اشباع می‌باشد. به همین دلیل روغت ذرت دارای مقدار بالایی اسید چرب غیر اشباع می‌باشد و می‌تواند جایگزین مناسبی برای اسیدهای چرب اشباع باشد. زیرا باعث کاهش کلسترول خون شده و به همین خاطر نسبت به سایر روغن‌های مصرفی اهمیت بالایی دارد (Mirmiran, Shideh, Aminpour, & Raei, 2001).

روغن‌ها بعداز غلات به‌عنوان دومین منبع تامین انرژی در تغذیه‌ی انسان مطرح می‌باشند و به دلیل ارزش غذایی بالا از اهمیت زیادی برخوردارمی‌باشد (Nik-Mehr *et al.*, 2015). روغن‌ها به جذب برخی ویتامین‌ها کمک می‌کنند و برای رشد و نموی بافتی ضروری هستند. مقدار و نوع چربی دریافتی تاثیر زیادی بر سلامت افراد جامعه دارد. وجود چربی‌های اشباع و ترانس در روغن‌ها خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی و عروقی را افزایش می‌دهد (Lupton, 2005).

روغن پالم، روغنی خوراکی است که از میوه‌ی درخت نخل روغنی استخراج شده‌است و به دلیل مصرف گسترده‌ی آن در صنایع غذایی باعث توجه زیاد به این روغن شده است. روغن پالم دارای نسبت‌های مساوی اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع است و به اندازه‌ی کافی دارای اسیدهای چرب اساسی می‌باشد. روغن‌پالم سرشار از اسید اولئیک و اسید پالمتیک است اما تا زمانی‌که محتوای چربی کل در سطح توصیه شده‌ی سازمان بهداشتی باشد روی لیپیدهای پلاسمای خون تاثیری نمی‌گذارد. در مالزی خواص فیزیکی و شیمیایی روغن پالم توسط مجامع علمی و طی چند مورد بررسی جامع، به دقت تعیین شده و نتایج آن تحت استاندارد MS 814 مالزی مورخ سال ۱۹۹۴ میلادی ثبت شده است (Berger, 1981; Siew & Chong, 1998).

۱- کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۲- دانشیار مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۳- استادیار مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی سنقر، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۴- دانشیار مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: pjavadikia@gmail.com)
https://doi.org/10.22067/jam.2021.70930.1046

اضافه کردن مواد افزودنی برای ماندگاری بیشتر محصولات و بالابردن راندمان از جمله مشکلات موجود در صنعت مواد غذایی است که در حال افزایش می‌باشد (Tawhidi, Ghasemi-Vernamkhasti, GhaffariNia, Mohtasbi & Bonyadian, 2016). حدود ۵۰ درصد از اسیدهای چرب روغن پالم را اسیدهای چرب اشباع تشکیل می‌دهند که باعث بالا رفتن کلسترول بد خون می‌شود که با افزایش آن خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی افزایش می‌یابد (Rashidi & Birmie, 2014). امروزه دانشمندان به اهمیت شناسایی و تعیین بو در بسیاری از زمینه‌ها دست یافتند. یکی از راه‌های شناسایی مواد شیمیایی در هوا استفاده از دستگاه‌های آزمایشگاهی بزرگ مانند کروماتورگرافی گازی (GC) و اسپکترومتری جرمی (MS) است، در حالی‌که این روش‌ها وقت‌گیر و پرهزینه است. این دلایل سبب پیدایش بینی الکتریکی شده است (Ghasemi-Varnamkhasti *et al*., 2011).

بینی الکتریکی مجموعه‌ای از حسگرهاست که برای شناسایی دقیق بوهای پیچیده از محصولات کشاورزی و محصولات غذایی و مانند آن استفاده می‌شود. حسگرهای هوشمند بینی الکتریکی کار سیستم بویایی انسان را شبیه‌سازی می‌کند و گازهای فراری که متصاعد می‌شوند را بو می‌کند. ماشین بویایی از روش‌های جدید ارزیابی غیرمخرب مواد غذایی و محصولات کشاورزی است (Foroughi-Rad, Mohtasebi, Ghasemi, & Omid, 2014).

در پژوهشی به بررسی مقدار پالم در کره به روش کروماتوگرافی پرداختند. در این پژوهش ۰/۵ تا ۵۰ درصد پالم به کره اضافه گردید. نتایج افزایش در اسید چرب غیراشباع و کاهش در اسید چرب اشباع در اثر اضافه نمودن پالم را نشان داد (Feizy & Jahani, 2020).

ایاری و همکاران نیز در سال ۱۳۹۶، کیفیت روغن حیوانی گاوی را با استفاده از ماشین بویایی، ارزیابی کردند. نتایج حاصل شده از تحقیقات نشان داد که سامانه بینی الکتریکی می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش‌های پیچیده و زمان‌بر برای تعیین کیفیت روغن حیوانی و تعیین درجه خلوص آن باشد (Ayari, Mirzaee-Ghaleh, Rabbani, & Heidarbeigi, 2020).

در پژوهش دیگری از یک بینی الکترونیکی برای شناسایی و تشخیص تقلب در روغن زیتون استفاده شد. سامانه مورد استفاده شامل ۱۲ حسگر نیمه‌هادی اکسید فلز بود که برای تولید الگو از ترکیبات فرار موجود در نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. روش نمونه‌گیری سیستم از نوع استاتیکی، سیستم تشخیص از نوع حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلز و سیستم پردازش داده شامل شبکه عصبی مصنوعی بود. براساس نتایج تفکیک روغن تقلبی و غیرتقلبی به‌خوبی انجام گرفت. حتی دستگاه قادر به تعیین نوع روغن تقلبی نیز بود (Mildner-Szkudlarz & Jeleń, 2008).

در مطالعه‌ای دیگر به بررسی خواص بویایی روغن‌های پالم اولئین و پنبه‌دانه و مخلوط‌های گوناگون پرداختند. نتایج نشان داد بینی الکتریکی مورد استفاده در این آزمایش با موفقیت درصد ترکیب اجزای تشکیل‌دهنده نمونه مجهول را به‌دست آورد (Seif Elahi, 2011).

تحقیقات گسترده‌ای توسط دستگاه بینی الکتریکی و ارزیابی کیفیت و نظارت بر تخمیر غذاها و غیره صورت گرفته است (Sanaeifar, Zaki Dizaji, Jafari, & Guardia, 2017).

در پژوهشی به کمک دستگاه بینی الکترونیکی بوی متصاعدشده از شربت نیشکر مورد ارزیابی قرار گرفت و مقدار ساکاروز و درصد خلوص و قند تصفیه‌شده آن توسط خروجی‌های سه حسگر MQ3، MQ5 و MQ9 و به کمک رگرسیون خطی چندگانه و شبکه عصبی مصنوعی مدل شد که عملکرد مدل شبکه عصبی با $R2 = 0.96$ و $RMSE\ 0.33$ بهتر بود (Zaki Dizaji, Adibzadeh, & Aghili Nategh, 2021).

از دستگاه بینی الکترونیکی برای ارتباط بوهای ساطع‌شده از انواع شربت نیشکر جهت تشخیص بهترین زمان برداشت استفاده شد. چهار گونه نیشکر (CP57، CP69، IRC99-02 و CP48) انتخاب شدند. از تجزیه و تحلیل تفکیک خطی (LDA)، تجزیه و تحلیل مولفه های اصلی (PCA) و شبکه‌های عصبی (ANN) در مدل‌سازی‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد که هر سه روش دارای دقت بالایی در طبقه بندی تنوع هستند. اما روش‌های LDA و PCA بهتر از روش ANN عمل کردند. به طوری که دقت طبقه‌بندی انواع نیشکر به‌ترتیب ۹۳/۳۳ درصد، ۹۷ درصد و ۹۶/۷ درصد بود (Adibzadeh, Zaki Dizaji, & Nategh, 2019).

در تحقیقی دیگر توسط دستگاه بینی الکترونیکی ۸ گونه گیاه ریحان شناسایی و درجه‌بندی شد. در این تحقیق ابتدا ترکیب‌های اصلی تأثیرگذار اسانس ۸ گونه از گیاه ریحان استخراج شده و با استفاده از روش‌های مرسوم دقیق آزمایشگاهی، نوع و درصد ترکیبات آن‌ها مشخص شد؛ سپس درجه‌بندی این کلاس‌ها با استفاده از دستگاه بینی الکترونیکی و توسط دو مؤلفه اصلی اول PCA مورد ارزیابی قرار گرفت. با استفاده از دو مؤلفه اصلی در این تحقیق می‌توان ۸۸٪ واریانس داده‌ها را توجیه کرد. بررسی نتایج نشان داد دقت طبقه‌بندی توسط حسگر MQ135 حدود ۸۹ ٪بود (Golchin, Zaki Dizaji, Surestani, & Fardevani, 2019).

در این تحقیق از یک سامانه بینی الکتریکی برای تشخیص میزان پالم در روغن ذرت استفاده شده است. ویژگی‌های استخراج شده از سیگنال‌های به‌دست‌آمده از دستگاه با روش‌های تحلیل مولفه‌های اصلی، شبکه‌ی عصبی مصنوعی، انفیس و سطح پاسخ پردازش شدند و نتایج با یکدیگر مقایسه گردید تا بهترین روش جهت تشخیص میزان پالم در روغن مشخص گردد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌ها

روغن پالم مورد نیاز، از کارخانه‌ی کشت و صنعت روغن نازگل در کرمانشاه تهیه شد و روغن ذرت از مراکز روغن‌گیری طبیعی تهیه شد. برای آماده کردن نمونه‌ها با درصدهای مختلف پالم برای هر نمونه مقدار ۷۵ گرم روغن پالم و روغن ذرت با درصدهای تعیین‌شده در ظرف‌های مخصوص تهیه و نگهداری شد.



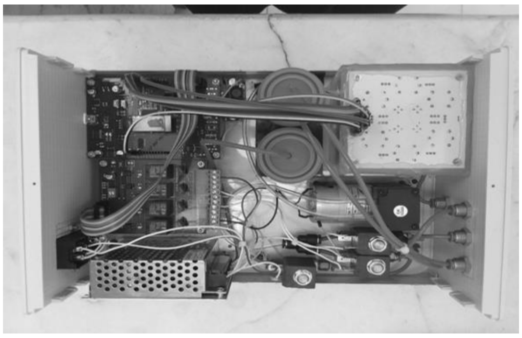
شکل ۱– نمونه‌های آماده‌شده جهت آزمایش
Fig.1. Prepared samples for testing

جدول ۱– نمونه‌های مورد آزمایش
Table 1- Test samples

ذرت **Corn (%)**	پالم **Palm (%)**	نمونه **Sample**
75	25	1
50	50	2
25	75	3
100	0	4

پیاده‌سازی سامانه بینی الکترونیک

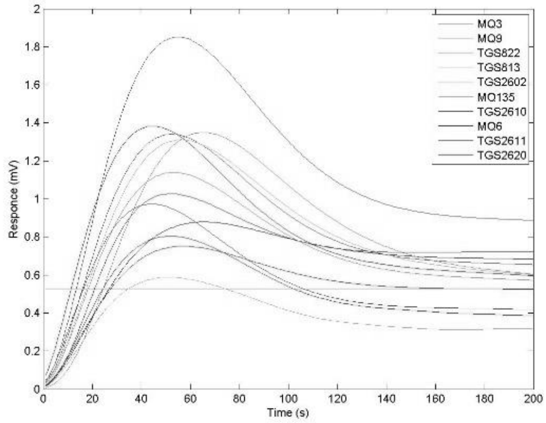
در سامانه‌ی بینی‌الکتریکی استفاده‌شده از ده حسگر نیمه‌هادی اکسید فلزی (MOS) استفاده شد که تصویر واقعی این سیستم در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲– نمای کلی سامانه بینی الکترونیک
Fig.2. Overview of electronic nose system

این سامانه شامل محفظه حسگرها، محفظه نمونه، یک میکروپمپ، سه شیر سولنوئیدی ۲ راهه دو حالته، سیستم جمع‌آوری داده (USB)، منبع تغذیه ۵ و ۱۲ ولتی، فیلتر هوای ورودی (کربن فعال) و رابط گرافیگی (LabVIEW 2014) می‌باشد. یکی از مراحل مهم انتخاب حسگرهای مناسب می‌باشد که با یک انتخاب درست هم تشخیص ترکیبات فرار به‌خوبی انجام می‌شود و هم در هزینه صرفه‌جویی (Doleman & Lewis, 2001). به همین دلیل از ده حسگر (TGS813, TGS2611, TGS2610, TGS2620, MQ135, MQ9, TGS2602, TGS822, MQ5, MQ3) ساخت چین استفاده گردید (جدول ۱).

سامانه‌ی مورد استفاده شامل سه مرحله‌ی کاری بود: ۱- رسیدن به خط مبنا، ۲- انتقال بوی نمونه به داخل محفظه‌ی حسگرها، ۳- پاک شدن محفظه‌ی حسگرها از بوهای دیگر برای شروع داده‌برداری جدید و پاسخ حسگرها به‌صورت تغییرات ولتاژ مناسب با زمان ثبت گردید.



شکل ۳- پاسخ حسگر بینی الکترونیک به بوی نمونه
Fig.3. Electronic nasal sensor response to sample odor

مرحله‌ی اول و دوم ۱۰۰ ثانیه و مرحله‌ی سوم (پاک‌سازی) ۵۰ ثانیه طول کشید که در مرحله‌ی اول هوای تازه با دبی ۶۰۰۰ سی‌سی بر دقیقه با عبور از میکروپمپ خلائی و شیر سولنوئیدی ۱ وارد محفظه سنسورها شد و باعث پاک‌سازی فضای حسگرها شد تا تغییرات ولتاژی حسگرها به حالت پایدار برگردد. در این مرحله شیر سنولوئیدی ۲ بسته می‌شود و شیر سولنوئیدی ۳ بازمی‌شود تا هوا خارج شود. در مرحله‌ی بعدی بوی نمونه به‌وسیله‌ی شیر سنولوئیدی ۲ و میکروپمپ خلائی با دبی ۶۰۰۰ سی‌سی بر دقیقه وارد محفظه حسگرها می‌شود در این مرحله به‌خاطر افزایش غلظت در محفظه‌ی حسگرها ولتاژ خروجی حسگرها افزایش می‌یابد، در مرحله‌ی دوم شیرهای سنولوئیدی ۱ و ۳ بسته می‌باشند. در مرحله ۳ شیرهای سنولوئیدی ۱ و ۳ باز می‌شوند و هوای فیلترشده از طریق میکروپمپ خلایی وارد محفظه حسگرها شده و بعد از پاک‌سازی محفظه‌ی حسگرها خارج می‌شود. که برای هر نمونه ۷ بار تکرار انجام شد و الگوی پاسخ‌ها به‌صورت فایل اکسل برای هر حسگر ذخیره می‌شود.

پیش‌پردازش و آماده‌سازی داده‌های مستخرج از سیگنال‌های بینی الکترونیک

برای به‌دست‌آوردن ویژگی‌ها ابتدا باید پیش‌پردازشی روی داده‌های خروجی حسگرها انجام شود. دلیل پیش‌پردازش داده‌ها مشخص کردن پاسخ سنسورها و افزایش دقت در تحلیل الگوها است. از سه روش برای تصحیح خط مبنا استفاده شده که شامل روش اختلافی، کسری و نسبی صورت می‌گیرد (Kiani, Minaei, & Ghasemi-Varnamkhasti, 2018). در حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی از روش کسری برای تصحیح خط مبنا استفاده می‌گردد (Gutierrez-Osuna, 2002).

تحلیل داده‌ها

داده‌های خروجی حسگرها که عملیات پیش‌پردازش بر روی آن‌ها انجام شد با روش‌های RSM، ANN، PCA، ANFIS برای تخمین درصد پالم در روغن ذرت، با استفاده از نرم‌افزار Unscrambler V. 9، Design expert 8.07.1 و MATLAB R2013a تحلیل شدند.

تحلیل مؤلفه اصلی (**PCA**)[1]

برای فشرده‌سازی داده‌های خطی و کاهش ابعاد داده‌ها استفاده می‌شود (Scott, James, & Zulfiqur, 2007). این روش یک تبدیل خطی متعامد در ریاضی نامیده‌می‌شود، که داده‌های خروجی را به یک دستگاه متخصات جدید می‌برد و به این داده‌های جدید که بدون همبستگی هستند مولفه‌های اصلی می‌گویند. طبقه‌بندی بر روی این نمونه‌ها انجام می‌شود به دلیل کم بودن متغیرهای اصلی کار تحلیل، توزیع و نمایش نمونه‌ها راحت تر انجام می‌شود.

1- Principal Component Analysis

روش سطح پاسخ (RSM)[1]

مجموعه‌ای از روش‌های ریاضی است که رابطه بین یک یا چند متغیر پاسخ را با چندین متغیر مستقل (مورد مطالعه) تعیین می‌کند این روش در سال ۱۹۵۱ توسط باکس و ویلسون معرفی شد، تا به امروز نیز از آن به‌عنوان یکی از ابزارهای طراحی آزمایش استفاده می‌گردد. کرمی و همکاران روش سطح پاسخ را به‌عنوان یک روش قابل‌قبول در مقایسه با روش‌های سنتی مدل‌سازی نشان داده است (Karami, Keyhani, & Mowla, 2016).

شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

این روش از پرکاربردترین روش‌ها برای داده کاوی هوشمند است. ایده‌ی این روش از نرون‌های عصبی مغز انسان توسط پیتز و مک کالاچ در سال ۱۹۴۰ مطرح شد. یک سامانه‌ی پردازشی داده‌ها محسوب می‌شود و وظیفه‌ی پردازش داده‌ها را به عهده دارد که این کار توسط پردازنده‌های کوچک و بسیار زیاد (نرون‌های مصنوعی) انجام می‌شود و آن‌ها به‌صورت شبکه‌ای به هم پیوسته و موازی عمل می‌کنند تا مسئله را حل کنند و در این شبکه به کمک برنامه‌نویسی، ساختاری لایه‌ای طراحی می‌شود (Neapolitan, 2012).

روش عصبی- فازی (ANFIS)

روش عصبی- فازی، نوعی شبکه عصبی مصنوعی است. این شیوه در اوایل ۱۹۹۰ ایجاد شده است از آن‌جایی که این سیستم، شبکه‌های عصبی و مفاهیم منطق فازی را یکی می‌کند، می‌تواند از امکانات هر دوی آن‌ها در یک قاب بهره برد. از این رو، ANFIS به‌عنوان یک برآورد جهانی مطرح شده است (Jang, 1991). عملکرد این روش به دو روش شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی بسیار شبیه می‌باشد. در هر دو روش مذکور، نهاده از لایه ورودی (توسط تابع عضویت ورودی) گذر کرده و سپس خروجی مدل در لایه خروجی (توسط تابع عضویت خروجی) بدست می‌آید. از آن‌جایی که در چنین مدل منطق فازی پیشرفته‌ای از شبکه عصبی استفاده شده است، با استفاده از یک الگوریتم یادگیری می‌توان پارامترها را تا آن‌جا که به جواب بهینه دست یافت، تغییر داد. در حقیقت در این روش منطق فازی با استفاده از قابلیت‌های شبکه عصبی پارامترهای خود را تنظیم می‌نماید.

1- Response Surface Methodology

نتایج و بحث

تشخیص درصد پالم در روغن ذرت با استفاده از بینی الکترونیک

تعداد مولفه‌های استخراج شده در هر مدل برابر است با تعداد متغیرهایی که بررسی می‌شوند. اما می‌توان تعداد مشخصی از این مولفه‌ها را انتخاب نمود. معمولاً دو یا سه مولفه اول مقدار قابل‌توجهی از پراکندگی داده‌ها را در نظر می‌گیرد. بنابراین انتخاب دو یا سه مولفه اول برای ادامه کار کفایت می‌کند (Ghasemi-Varnamkhasti, Mohtasebi, Siadat, Ahmadi, & Razavi, 2015).

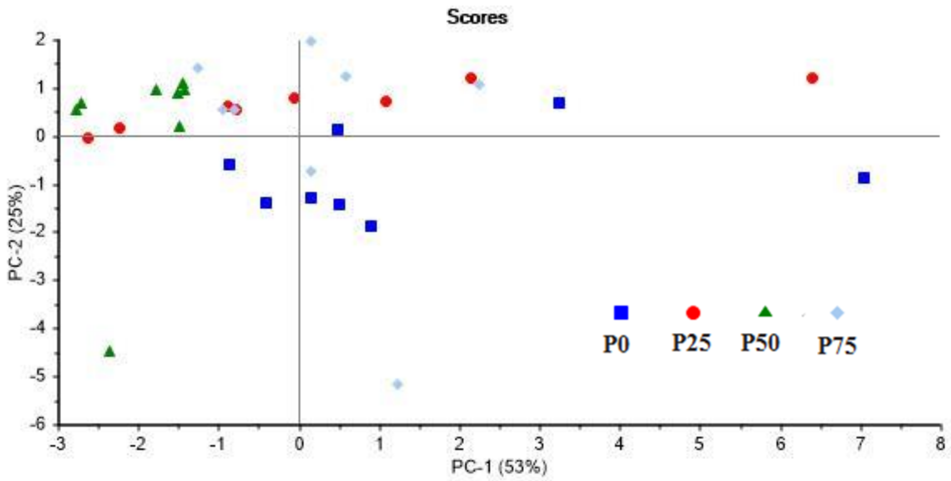
با توجه به نمودار اسکور مؤلفه‌های اصلی شکل۴ مؤلفه‌ی اصلی PC-1 و PC-2 به‌ترتیب ۵۳ و ۲۵ درصد بودند که مقدار واریانس بین نمونه‌ها در مجموع ۷۸ کل داده‌ها را توصیف می‌کند.

با توجه به نتایج بدست‌آمده شکل ۵ مشاهده می‌شود که حسگرهای MQ6 و TGS2610 تأثیر کمی در فرآیند تشخیص داشتند می‌توان آن‌ها را از آرایه حسگری حذف کرد. زمانی‌که نیاز است تا هزینه ساخت آرایه حسگری سامانه ماشین بویایی کاهش یابد حسگر شماره ۶ در مقایسه با دیگر حسگرها نقش بیشتری در تشخیص روغن ذرت با ترکیب پالم دارد.

در تحقیقی مشابه مارینا و همکاران از یک سامانه بینی الکترونیک بر پایه حسگرهای صوتی موج سطحی و روش مولفه‌های اصلی برای تشیخص تقلب در روغن نارگیل استفاده کردند. نمونه‌های تقلبی و روغن نارگیل خالص در دسته‌های مجزایی و با دقت ۷۴ درصد برای مولفه اول و ۱۷ درصد برای مولفه دوم و در مجموع کل ۹۱ درصد قابل تشخیص بودند (Marina, Che Man, & Amin, 2010).

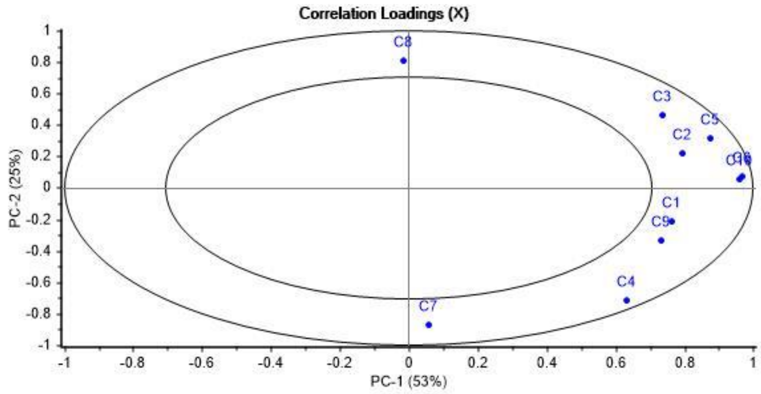
با استفاده از شبکه عصبی

الگوریتم پرسپترون چندلایه پس‌انتشار برای طبقه‌بندی و تشخیص درصدهای مختلف پالم در روغن ذرت با استفاده از داده‌های حاصل از بینی الکترونیک به‌عنوان ورودی شبکه، استفاده شد. به‌منظور طبقه‌بندی، شبکه‌ای شامل یک لایه ورودی، یک لایه پنهان و یک لایه خروجی استفاده گردید. تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک برای لایه پنهان استفاده گردید. تعداد نرون‌ها در لایه پنهان معمولاً از طریق سعی و خطا تعیین می‌گردد. تعداد نرون‌های لایه ورودی برابر تعداد ویژگی‌های استخراج‌شده از بینی الکترونیک ۱۰ عدد است و تعداد نرون‌های لایه خروجی برای تشخیص درصدهای مختلف پالم ۴ می‌باشد. در شبکه طراحی‌شده، نرخ یادگیری ۰/۰۲ استفاده شد. لازم به ذکر است که از ۷۵٪ داده‌ها برای آموزش شبکه و از ۲۵٪ باقی‌مانده برای ارزیابی نهایی استفاده گردید.



شکل ٤– نمودار اسکور درصد پالم در روغن ذرت

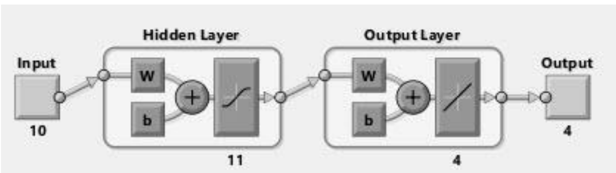
Fig. 4. Score chart of the percentage of palm in corn oil



C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
MQ3	MQ9	TGS822	TGS813	TGS2602	MQ135	TGS2610	MQ6	TGS2611	TGS2620

شکل ٥– نمودار لودینگ درصد پالم در روغن ذرت

Fig.5. Palm loading chart in corn oil

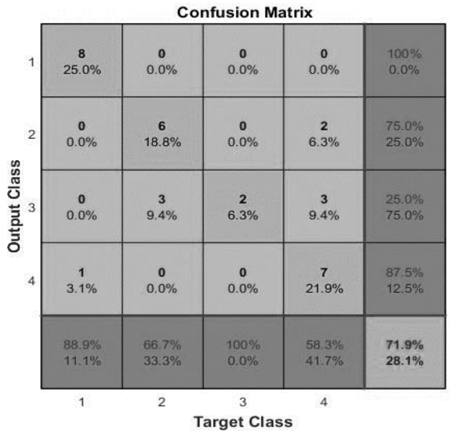


شکل ٦– ساختار کلی مدل ANN برای تخمین عملکرد روغن ذرت

Fig.6. General structure of ANN model for estimating corn oil yield

با توجه به شکل ۷، ماتریس اغتشاش حاصل از شبکه عصبی نمونه روغن ذرت خالص را با دقت ۱۰۰ درصد شناسایی کرده است در ماتریس اغتشاش دقت طبقه‌بندی برای نمونه ۲ (روغن ذرت دارای پالم ۲۵ درصد) ۷۰ درصد تشخیص و در نمونه ۳ که روغن ذرت دارای پالم ۵۰ درصد است، دقت طبقه‌بندی برابر ۲۵ درصد است و نمونه‌ی ۴ که شامل ذرت با پالم ۷۵ درصد است با دقت ۸۷/۵

تشخیص داده شده‌است و در مجموع دقت طبقه‌بندی برای نمونه روغن ذرت با درصدهای مختلف پالم در تحلیل به روش شبکه عصبی برابر با ۷۱/۹ درصد است.



شکل ۷– ماتریس اغتشاش تشخیص درصد پالم به کمک شبکه عصبی با استفاده از داده‌های بینی الکترونیک

Fig.7. Turbulence matrix detects palm percentage using neural network using electronic nose data

ضریب رگرسیون داده‌های آموزش ۰/۷۹۱۵۳، اعتبارسنجی ۰/۶۳۸۵۱، آزمایش ۰/۳۷۶۴۶ و در انتها میزان ضریب رگرسیون کل برابر با ۰/۶۷۵۱۳ به‌دست آمد. بهترین عملکرد اعتبارسنجی در اپوک ۲ با مقدار MSE= ۰/۱۲۰۸۶ به‌دست آمد.

های و وانگ با استفاده از یک بینی الکترونیک مجهز به ۱۰ حسگر نیمه‌هادی اکسید فلزی تقلبی و یا غیرتقلبی بودن روغن دانه‌ی کاملیا و روغن کنجد را بررسی کردند. آن‌ها گزارش دادند که تحلیل مولفه‌ی اصلی در تشخیص اصالت روغن کاملیا موثر واقع نمی‌شود اما در مورد روغن کنجد روش مناسبی است و این درحالی است که تحلیل تفکیک خطی قادر به تشخیص اصالت هر دو نوع روغن است. که تشخیص اصالت روغن با استفاده از شبکه‌ی عصبی برای روغن کاملیا ۸۳/۶ و برای روغن کنجد ۹۴/۵ تعیین کردند (Hai & Wang, 2006).

با استفاده از انفیس

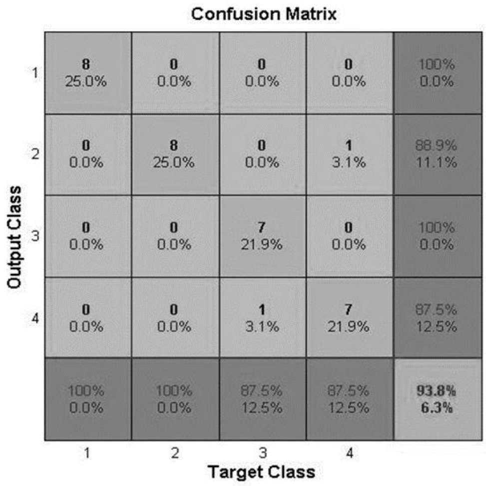
نتایج آنالیز برای تشخیص درصد پالم در روغن ذرت توسط ANFIS در شکل ۸ آورده شده است. در روش ANFIS تابع فعال‌سازی هیبرید برای لایه‌ی پنهان استفاده شد. تعداد نرون‌های لایه‌ی پنهان از روش آزمون و خطا تعیین شد. تعداد نرون‌های لایه‌ی ورودی برای تعداد پارامترهای استخراج شده از دستگاه بینی‌الکترونیک ۱۰ و تعداد نرون‌های لایه‌خروجی برای تشخیص درصددهی مختلف پالم ۴ می‌باشد.

نتایج به‌دست‌آمده باتوجه به شکل ۸ نشان می‌دهد که در ماتریس اغتشاش دقت طبقه‌بندی برای نمونه اول که مربوط به روغن ذرت خالص است ۱۰۰ درصد می‌باشد. اما دقت طبقه‌بندی صحیح در نمونه‌های دوم (روغن ذرت دارای پالم ۲۵ درصد) ۸۸/۹ درصد و در نمونه سوم (روغن ذرت دارای پالم ۵۰ درصد) با دقت طبقه‌بندی ۱۰۰ درصد و نمونه چهارم (روغن ذرت دارای پالم ۷۵ درصد) ۸۷/۵ درصد به‌دست آمد. همچنین به‌طور کلی نمونه‌ها با دقت ۹۳/۸ درصد طبقه‌بندی شد.

با استفاده از شبکه RSM

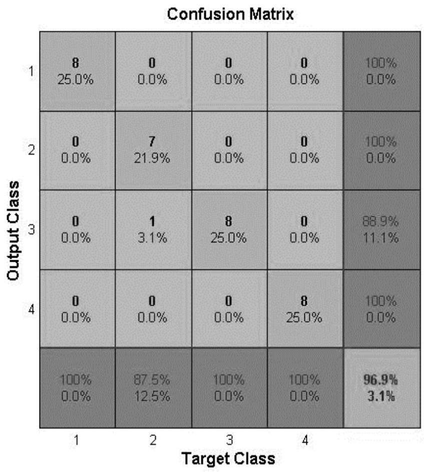
نتایج آنالیز برای تشخیص درصد پالم در روغن ذرت توسط RSM در شکل ۹ نشان داده شده است. با توجه به نتایج حاصل از تحلیل به روش RSM نشان می‌دهد که در ماتریس اغتشاش دقت طبقه‌بندی برای نمونه اول، نمونه دوم و چهارم ۱۰۰درصد می‌باشد. اما دقت طبقه‌بندی در نمونه سوم ۸۸/۹ درصد به‌دست آمد. همچنین به‌طور کلی نمونه‌ها با دقت ۹۶/۹ درصد طبقه‌بندی شد.

با توجه به روش‌های تحلیل‌شده در این پژوهش نشان می‌دهد که روش سطح پاسخ روش مناسب‌تری برای تشخیص درصد پالم در روغن ذرت می‌باشد و همچنین با توجه به مقدار همه پارامترهای عملکردی (دقت، حساسیت و ویژگی) (Chicco & Jurman, 2020) مربوط به تفکیک ترکیب روغن‌ذرت با پالم توسط ANFIS، RSM و ANN با توجه به جدول ۲ به این نتیجه رسیدیم که در طبقه‌بندی روغن ذرت و پالم بهتر است از روش RSM استفاده شود.



شکل ۸– ماتریس اغتشاش روش ANFIS برای روغن ذرت

Fig.8. ANFIS method perturbation matrix for corn oil



شکل ۹– نتایج حاصل از تحلیل به روش RSM برای روغن ذرت

Fig.9. Results of RSM analysis for corn oil

به‌طور خلاصه در این تحقیق از سه تکنیک ANN، ANFIS و RSM به کمک خروجی‌های دستگاه بینی الکتریکی استفاده شد که بهترین مدل ۹۶/۹ درصد دقت تشخیص داشت و قادر بود ناخالصی‌های روغن ذرت توسط روغن پالم را با نسبت‌های صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد تشخیص دهد در صورتی که در بررسی‌های انجام شده پژوهشی بر روی میزان پالم در روغن ذرت و روغن‌های دیگر به کمک دستگاه بینی الکترونیکی صورت نگرفته است. با این وجود در تحقیقی که جهت تشخیص تقلب در روغن حیوانی گاوی صورت گرفت درصدهای مختلفی از ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد روغن نباتی و روغن دنبه به روغن حیوانی اضافه شد و توسط دستگاه بینی‌الکتریکی و تکنیک‌های QDA و PCA مدل‌هایی استخراج شد که دقت آن‌ها به‌ترتیب برای ناخالصی روغن نباتی ۹۵/۲۴ و برای ناخالصی روغن دنبه ۹۷/۱۵ بود (Ayari *et al.*, 2020). در این تحقیق حسگر MQ135 کمترین تاثیر را داشت. در تحقیق دیگر که برای تشخیص تقلب در روغن زیتون با ناخالصی روغن فندق صورت گرفت از تکنیک بینی الکتریکی و PCA استفاده شد و توانست کیفیت روغن زیتون را به‌خوبی تشخیص دهد (Mildner-Szkudlarz & Jeleń, 2008).

جدول ۲- تحلیل عملکرد سیستم‌های دسته‌بندی برای روغن ذرت

Table 2- Performance analysis of classification systems for corn oil

ذرت Corn	درصد Percentage	حساسیت allergy	ویژگی Property	دقت Accuracy
ANFIS	0	1	0.95	1
	25	0.63	1	0.89
	50	0.88	0.86	1
	75	0.75	0.91	0.88
ANN	0	1	0.95	0.89
	25	0.63	1	1
	50	0.88	0.86	0.75
	75	0.75	0.91	0.75
RSM	0	1	1	1
	25	0.88	1	1
	50	1	0.96	0.89
	75	1	1	1

نتیجه‌گیری

در این پژوهش جهت تحلیل ترکیبات معطر متفاوت نمونـه‌هـای مختلف روغن و پالم، به جهت تشخیص پالم از سامانه چند حسـگری بینی‌الکترونیک بر پایه حسگرهای اکسید فلزی استفاده گردید. سامانه ایجادشده اطلاعات قابل‌مقایسه‌ای را بـرای طبقـه‌بنـدی نمونـه‌هـای روغن ذرت با پالم فراهم کرد. با استفاده از روش‌هـای PCA، ANN، ANFIS و RSM عملکرد سامانه برای تمایز و طبقه‌بندی نمونه‌هـای روغن ذرت و پالم مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

نتایج به‌دست‌آمده از نمودار لودینگ برای تشخیص پالم در روغن ذرت نشان داد در روغـن ذرت حسـگر MQ6 و TGS2610 کمتـرین تاثیر در فرآیند تشخیص را داشتند.

برای تشخیص درصدهای مختلف پالم در روغن ذرت بهتر اسـت از روش RSM استفاده کرد.

References

1. Adibzadeh, A., Zaki Dizaji, H., & Nategh, N. A. (2019). Feasibility of Detecting Sugarcane Varieties by Electronic Nose Technique in Sugarcane Syrup. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, *51*, 1-10. https://doi.org/10.22059/IJBSE.2019.287027.665209
2. Ayari, F., Mirzaee-Ghaleh, E., Rabbani, H., & Heidarbeigi, K. (2020). Implementation of a Machine Olfaction for the Detection of Adulteration in Cow Ghee. *Journal of Agricultural Machinery*, *10*(2), 129-139. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jam.v10i2.67524
3. Berger, K. G. (1981). Food uses of palm oil. *Porim occasional paper*, *2*, 1-27.
4. Chicco, D., & Jurman, G. (2020). The advantages of the Matthews correlation coefficient (MCC) over F1 score and accuracy in binary classification evaluation. *BMC Genomics*, *21*(6), 1-13. https://doi.org/10.1186/s12864-019-6413-7
5. Doleman, B. J., & Lewis, N. S. (2001). Comparison of odor detection thresholds and odor discriminablities of a conducting polymer composite electronic nose versus mammalian olfaction. *Sensors and Actuators B: Chemical*, *72*, 41-50. Available at: https://people.ee.duke.edu/~lcarin/DeminingMURI/Doleman_Sensor_Actuators_2001.pdf
6. Feizy, J., & Jahani, M. (2020). A chromatographic method for detection of palm oil in butter. *Journal of Food and Bioprocess Engineering*, *3*, 47-52. https://doi.org/10.22059/JFABE.2020.76393
7. Foroughi-Rad, A., Mohtasebi, S. S., Ghasemi, M., & Omid, M. (2014). Nondestructive quality evaluation of Abbot Kiwifruit using electronic nose. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, *45*, 1-9. https://doi.org/10.22059/IJBSE.2014.51285
8. Ghasemi-Varnamkhasti, M., Mohtasebi, S. S., Siadat, M., Ahmadi, H., & Razavi, S. H. (2015). From simple classification methods to machine learning for the binary discrimination of beers using electronic nose data. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, *8*, 44-51. https://doi.org/10.1016/j.eaef.2014.07.002
9. Ghasemi-Varnamkhasti, M., Mohtasebi, S. S., Siadat, M., Lozano, J., Ahmadi, H., Razavi, S. H., & Dicko, A. (2011). Aging fingerprint characterization of beer using electronic nose. *Sensors and Actuators B: Chemical, 159*, 51-59.
10. Golchin, A., Zaki Dizaji, H., Surestani, M. M., & Fardevani, M. E. K. (2019). The Electronic Nose Technique for Nondestructive clustering of Basil as a Medicinal Plant. *Non-destructive Testing Technology*, *2*(4), 54-60.

https://doi.org/10.30494/JNDT.1398.95385

11. Gutierrez-Osuna, R. (2000). Pattern analysis for machine olfaction: a review. *IEEE Sensors Journal*, *2*(3), 189-202. https://doi.org/10.1109/JSEN.2002.800688
12. Hai, Z., & Wang, J. (2006). Detection of adulteration in camellia seed oil and sesame oil using an electronic nose. *European Journal of Lipid Science and Technology*, *108*, 116-124. https://doi.org/10.1002/ejlt.200501224
13. Jang, J. S. R. (1991). Fuzz Modeling Using Generalized Neural Networks and Kalman Filter Algorithm in Proceedings of the 9th National Conference on Artificial Intelligence. Anaheim, CA, USA.
14. Karami, H. R., Keyhani, M., & Mowla, D. (2016). Experimental analysis of drag reduction in the pipelines with response surface methodology. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, *138*, 104-112. https://doi.org/10.1016/j.petrol.2015.11.041
15. Kiani, S., Minaei, S., & Ghasemi-Varnamkhasti, M. (2018). Real-time aroma monitoring of mint (*Mentha spicata* L.) leaves during the drying process using electronic nose system. *Measurement*, *124*, 447-452. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.03.033
16. Lupton, J. R. (2005). *For Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids*. Washington, DC: US Government Printing Office: Institute of Medicine. Report no.
17. Marina, A. M., Che Man, Y. B., & Amin, I. (2010). Use of the SAW Sensor Electronic Nose for Detecting the Adulteration of Virgin Coconut Oil with RBD Palm Kernel Olein. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, *87*, 263-270. https://doi.org/10.1007/s11746-009-1492-2
18. Mildner-Szkudlarz, S., & Jeleń, H. H. (2008). The potential of different techniques for volatile compounds analysis coupled with PCA for the detection of the adulteration of olive oil with hazelnut oil. *Food Chemistry*, *110*(3), 751-761. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.053
19. Mirmiran, P., Shideh, F., Aminpour, A., & Raei, F. (2001). The effect of corn oil on the metabolism of laboratory mice. *Research in Medicine*, *25*, 43-46.
20. Neapolitan, R. E. (2012). Contemporary artificial intelligence. Boca Raton. Fla: CRC.
21. Nik-Mehr, S., Abdshahi, A., & Mirzaei, A. (2015). Evaluation of welfare effects of changes in the market inventory of edible oils in Iran. *Agricultural Economics Research*, *8*(1), 71-83. Available at: https://ensani.ir/file/download/article/20160903152009-10006-210.pdf
22. Rashidi, H., & Birmie, M. (2014). *Palm oil: benefits and harms*. Third National Conference on Food Science and Industry, Quchan.
23. Sanaeifar, A., Zaki Dizaji, H., Jafari, A., & Guardia, M. D. L. (2017). Early detection of contamination and defect in foodstuffs by electronic nose: A review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, *97*, 257-271. https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.09.014
24. Scott, S. M., James, D., & Zulfiqur, A. (2007). Data analysis for electronic nose systems. *Microchimica Acta*, *156* (3), 183-207. https://doi.org/10.1007/s00604-006-0623-9
25. Seif Elahi, F. (2011). Investigation of olfactory properties of palm olein and cottonseed oils and their various mixtures. *Iranian Chemical Engineering Journal*, *10*, 16-22.
26. Siew, W. L., & Chong, C. L. (1998). *Phase transition of crystals in palm olein*. PORIM Report PO 283: 1-71.
27. Tawhidi, M., Ghasemi-Vernamkhasti, M., GhaffariNia, V., Mohtasbi, S. S., & Bonyadian, M. (2016). Fabrication and development of a machine olfaction system combined with pattern recognition techniques for detecting formalin adulteration in raw milk. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, *47*, 761-770.
28. Zaki Dizaji, H., Adibzadeh, A., & Aghili Nategh, N. (2021). Application of E-nose technique to predict sugarcane syrup quality based on purity and refined sugar percentage. *Journal of Food Science and Technology*, *58*, 4149-4156. https://doi.org/10.1007/s13197-020-04879-4